

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПОВОРОТНЫЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ НА МОДУЛЯХ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ И ДРУГИХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КА РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Тарасенко Н.В., Кириллова Г.В., Федосеев С.В.

Целевая аппаратура (ЦА) устанавливается на поворотные платформы космического аппарата (КА) в случаях:

- если требуемая точность наведения ЦА выше, чем обеспечиваемая системой ориентации КА;
- если необходимо быстрое перенацеливание ЦА с одного объекта на другой или большие скорости слежения за целью;

если в экспериментах участвуют несколько приборов, для которых требуется различная ориентация в пространстве.

К настоящему времени накоплен определенный опыт применения в составе КА автоматических поворотных платформ (АПП), обеспечивающих независимое от ориентации КА или орбитальной космической станции (ОКС) наведение ЦА. Современные АПП могут работать в трех основных режимах: в режиме разворота в связанной с КА системе координат; в режиме стабилизированного программного разворота в инерциальной системе координат; в режиме астросопровождения цели.

Для повышения эффективности использования российского сегмента в составе международной космической станции (МКС) на нем размещается научная аппаратура (НА) как отечественного, так и зарубежного производства. Комплексы научной аппаратуры, которые предполагается установить на МКС должны обеспечивать решение широкого круга задач, среди которых задачи: дистанционного зондирования Земли и экологического мониторинга, астрофизических исследований, исследования солнца и солнечно-земных связей.

Решение целевых задач, связанных с получением информации об объектах на небесной сфере земной поверхности и в атмосфере Земли, требует наведения осей визирования научной аппаратуры на наблюдаемые объекты и их отслеживание в течение времени наблюдения, либо проведения эксперимента. Эффективность решения таких задач определяется: точностью наведения осей визирования научной аппаратуры; точностью отслеживания и привязки наблюдаемых объектов к выбранной системе координат; длительностью сеансов наблюдения; возможностью одновременного наблюдения нескольких исследуемых объектов, либо одного объекта ЦА различного типа; временем перенацеливания ЦА с одного объекта на другой; качеством и объемом информации, получаемой в результате функционирования ЦА.

На российском сегменте могут быть размещены несколько научных комплексов, которые выполняют различные задачи и предъявляют существенно отличающиеся требования к системе наведения аппаратуры. Выбор принципа построения системы наведения ЦА должен проводиться на самых начальных этапах проектирования КА, поскольку от этого зависит облик КА в целом. Обычно при проектировании космического аппарата вся ЦА разбивается на группы, имеющие сходные требования по ориентации и наведению приборов. Затем определяется, каким образом целесообразно устанавливать эту аппаратуру на КА. Существует два пути. Можно устанавливать ЦА жестко на борту. Тогда необходимо разрабатывать программу полета таким образом, чтобы все эксперименты выполнялись последовательно. В данном случае невозможно одновременное проведение двух или нескольких экспериментов, для которых требуется различная ориентация КА. Другим способом размещения ЦА на борту КА является установка ее на одной или нескольких поворотных платформах, которые могут иметь до 3-х степеней свободы относительно станции. В данном случае наведение ЦА на объекты исследования осуществляется с помощью автономной системы наведения поворотной платформы. При этом КА может находиться в режиме дежурной, достаточно грубой ориентации. Переориентация приборов с одного объекта на другой осуществляется с помощью поворотной платформы без изменения ориентации станции. Точность ориентации и стабилизации ЦА, установленной на автоматической поворотной платформе может быть существенно выше, чем точность ориентации и стабилизации самого КА.

Для МКС совершенно очевидна невозможность жесткой установки ЦА различного назначения и необходимость кинематической развязки угловой ориентации МКС и ЦА с использованием автоматических поворотных платформ. Существенная нежесткость элементов конструкции МКС и высокий уровень возмущающих воздействий, в том числе, со стороны экипажа станции, делает необходимой максимально возможную динамическую развязку АПП с ЦА и станции.

Рассмотрим основные требования к систем наведения АПП со стороны ЦА, с целью определения необходимого ряда унифицированных платформ для установки ЦА на МКС и других перспективных КА. Предварительный анализ требований к АПП со стороны ЦА был осуществлен на основании материалов, представленных отечественными разработчиками научных экспериментов, и предложений по установке научной аппаратуры фирмами Boeing и DRL. Проведенный анализ показал, что обеспечение практически всех требований по наведению целевой аппаратуры, предназначенной для установки на МКС и перспективных КА научного назначения, возможно при использовании АПП 3-х типов.

Первый тип. Трехосная АПП для легких полезных нагрузок массой 60-200 кг. АПП должна обеспечивать:

- скорость слежения за целью не ниже 3 град/с;
- точность наведения на цель – от 3 угл.мин до 3 угл.с;
- точность стабилизации по скорости - 1 угл.сек/с; по углу - 1 угл.сек;
- ресурс работы АПП - до 10 лет.

Второй тип. Двух или трехосная АПП для полезных нагрузок массой 200-600кг. Основные характеристики АПП:

- скорость слежения за объектом наблюдения - до 1,5 град/сек;
- точность наведения на цель - 1 угл. мин;
- точность стабилизации по скорости – 0,1 угл. сек за 10 сек; по углу 0,1 угл.сек;
- ресурс работы - более 5-ти лет.

Третий тип. Трехосная АПП для полезных нагрузок массой до 1000кг. АПП должна обеспечивать:

- скорость слежения – 0,6 град/сек;
- точность наведения КА на объект исследования - 1 угл. мин;
- точность стабилизации - 1 угл. сек - по углу, 0,001- 0,0001 град/сек - по угловой скорости;
- ресурс работы АПП - 5 лет и более.

С целью определения имеющегося научно-технического задела и использования его при создании АПП для размещения ЦА на российском сегменте МКС, рассмотрим основные достижения в разработке АПП за рубежом и в России.

В США, ведущих с середины 70-х годов интенсивные теоретические и экспериментальные исследования в области создания прецизионных АПП, к настоящему времени создан ряд АПП с весьма высокими характеристиками. К таким АПП относятся следующие платформы:

- IPPACS - платформа КА Маринер-Марк II;
- IPS - универсальная платформа для наведения полезных нагрузок (ПН) КА Space Shuttle;

MPM - миниатюрная платформа для наведения телескопа КА "Apollo";

- SIPS - небольшая платформа для ориентации ПН КА "Space Shuttle";
- ASPS платформа с электромагнитной кольцевой системой подвески.

Для перспективной орбитальной космической станции США с конца 80-х годов ведут разработку нового класса АПП, позволяющих наводить и стабилизировать в инерциальном пространстве ЦА массой до 5000кг с точностью единицы угл. сек /1/. В разработке использовались следующие технические решения: применен трехосный карданный подвес, обеспечивающий совпадение центра вращения и центра масс полезной нагрузки; использованы механические или гидравлические амортизаторы между космическим аппаратом и подвесом; приводы с разгрузкой из двух двига-

телей и маховика. Научная аппаратура устанавливается в управляемом магнитном или упругом подвесе.

В результате проведенных работ были созданы АПП для размещения ЦА на модулях МКС. На американском сегменте предполагается установить 6 поворотных платформ. На каждой платформе можно будет разместить научную аппаратуру массой до 5000 кг. Кроме того, на модуле "Япония" будут стоять 6 АПП с ЦА, имеющей массу до 600 кг на каждой платформе. В настоящее время в России существует достаточно большой опыт по созданию систем наведения прецизионных поворотных платформ /2/, но, в основном, это АПП для легких полезных нагрузок. Высокоточные АПП были созданы для установки на КА для исследования дальнего космоса. На КА, предназначенном для исследования Венеры и кометы Галлея, была установлена и успешно прошла летные испытания двухступенная АПП АСП-Г. Для КА "Марс-96" была разработана трехступенная АПП ТСП-М "Аргус". АПП предназначена для стабилизированного программного разворота в инерциальном пространстве научной аппаратуры, имеющей массу 100 кг, с точностью ± 6 угл. мин по углу и ± 1.5 угл. мин./с по угл. скорости. Ресурс работы АПП ТСП-М "Аргус" составляет 6 лет /3/. Упрощенные варианты этих платформ используются для наведения ЦА на станции "Мир". Находится в стадии завершения разработка двухконтурной АПП типа ТСП "Аргус", которая первоначально разрабатывалась для КА Марс-96. Такая АПП обеспечивает точность стабилизации ЦА по углу до 4 угл.с.

Анализ научно-технических достижений в области разработки автоматических поворотных платформ для наведения ЦА позволяет сделать вывод, что в ближайшие годы существует возможность создания отечественных прецизионных АПП для установки на них ЦА массой до 200 кг.

С точки зрения точности наведения ЦА платформы российской разработки могут быть условно отнесены к трем классам:

высокоточные АПП для наведения ЦА на объект исследования и стабилизации ее с точностями до единиц угловых секунд (двухконтурные АПП);

- АПП, средней точности для наведения и стабилизации ЦА в инерциальном пространстве с точностями порядка единиц угл. минут (одноконтурные АПП с гироблоком в контуре управления);

- АПП для разворота ЦА относительно связанной системы координат КА с точностью порядка нескольких угловых минут.

Перечисленные варианты АПП отличаются друг от друга в основном структурой и составом системы управления. Наиболее простой вариант построения АПП предназначен для установки на модулях ОКС "Мир". В состав системы управления входят блок приводов наведения с двухступенным подвесом консольного типа, датчики углов и бортовая вычислительная система. Платформа служит для разворота ЦА относительно КА и

обеспечивает точность ее разворота в связанной системе координат КА до 5 угл. мин. Точность наведения и стабилизации ЦА в инерциальном пространстве не превышает точности ориентации и стабилизации КА. Для повышения точности наведения и обеспечения длительного стабилизированного программного разворота ЦА в инерциальном пространстве в состав системы наведения платформы введен блок гироскопических датчиков угловой скорости и навигационная камера, которая используется в режиме звездного датчика. Использование навигационной камеры в режиме звездного датчика позволяет автономно определить текущую ориентацию ЦА в инерциальной системе координат. Эта информация используется для уточнения ориентации платформы и калибровки гироскопов в полете. Приведенные приемы позволили обеспечить для АПП второго типа динамическую погрешность стабилизации связанных осей ЦА в инерциальной системе координат при воздействии возмущений со стороны ЦА и КА при программном развороте на уровне ± 6 угл. мин. по углу и $\pm 1,6$ угл. мин./с по угловой скорости.

Для дальнейшего повышения точности наведения и стабилизации ЦА в состав АПП вводится блок приводов стабилизации, например, на основе трехступенного торсионного подвеса. Такая структура системы управления АПП предлагалась первоначально для установки ЦА на КА "Марс-96". Торсионный подвес может быть заменен карданным подвесом с подшипниковыми опорами. Возможно, использование торсионов совместно с недожатыми подшипниками. Введение контура стабилизации позволит осуществить стабилизацию ЦА с точностью до единиц угловых секунд.

На основе трех основных типов АПП могут быть созданы одно, двух и трехступенные платформы для установки ЦА массой до 200 кг, обеспечивающие переориентацию ЦА и наведение ее на цель со скоростью до 6 град/с. Привод платформы должен обеспечивать углы поворота ЦА по каждой оси ± 165 градусов. АПП может использоваться как для разворота ЦА относительно корпуса КА, так и для наведения ее в инерциальном пространстве. Разработанные платформы имеют консольную конструкцию, что позволяет устанавливать на них полезные нагрузки различной конфигурации и значительно расширяет зоны обзора ЦА, устанавливаемой на российском сегменте.

Использование АПП трех указанных типов, построенных на базе ТСП "Аргус", позволит оснастить российский сегмент МКС научной аппаратурой в частности:

- осуществить астрофизические эксперименты, планируемые Российской Академией Наук;

- осуществить работы по дистанционному зондированию Земли и экологическому мониторингу в интересах России;

- осуществить эксперименты немецкой фирмы DRL по проведению космического мониторинга поверхности Земли и большинство экспериментов, предложенных американской фирмой Boeing.

Для наведения ЦА, масса которой превышает 200 кг, необходимо модернизировать существующие АПП или разрабатывать новые. По предварительным оценкам, АПП для установки на них научной аппаратуры массой больше 200 кг, могут быть созданы и введены в эксплуатацию не менее чем за 3 года. При их создании целесообразно использовать технические решения, зарекомендовавшие себя при создании наилучших зарубежных и отечественных АПП. Для установки научной аппаратуры с повышенной чувствительностью к возмущениям со стороны МКС необходимо разработать виброизолирующие платформы с пассивной и активной системами виброзащиты. Для создания перспективных АПП, которые могут быть установлены на ферменные конструкции станции или модули, для которых выдвигаются жесткие требования по возмущениям со стороны движущихся полезных нагрузок, целесообразно использовать карданный подвес, обеспечивающий совпадение центра вращения и центра масс полезной нагрузки и приводы на основе двигателя с разгрузкой.

Список использованных источников

1. Исследование проблем наведения полезных нагрузок ОКС Spasce Station, проведенные отделением научно-прикладных проблем NASA//AAA Guiddanca, Navigation and Control Conference, Aug.15-17, 1988. A Collection of Technical papers. Part 1.88-4105-CP.
2. Тарасенко Н.В. Основные пути повышения точностных характеристик автоматических поворотных платформ типа ТСП "Аргус" и оценка эффективности их использования для наведения научной аппаратуры ОКС "Альфа" /Космонавтика и ракетостроение. - Вып. 12 - ЦНИИМАШ, 1998
3. Трехосная стабилизированная платформа комплекса "Аргус" (ТСП-Аргус) (Техническое описание. 00450-00-001ТО, ВНИИТРАНСМАШ, 1996.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТОПРОВОДОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Сысеев А.Б., Черванев В.Ю., Буткевич Р.В., Меркулов А.И.

Размещение большого количества однокомпонентных преобразователей для электромагнитного контроля взаимных перемещений деталей и узлов изделий машиностроения является трудноосуществимой задачей особенно в зонах изделий с ограниченным доступом. Необходим поиск новых подходов к построению широкодиапазонных миниатюрных электромагнитных преобразователей с магнитопроводом с повышенной стабильностью выходных характеристик ферромагнитных материалов, работающих в широком диапазоне амплитуд и частот изменения магнитного потока /1, 2, 3/ .